

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

PRIORITY DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Aktenzeichen: 103 44 429.7

Anmeldetag: 25. September 2003

Anmelder/Inhaber: DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart/DE

Bezeichnung: Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine

IPC: F 02 D, F 02 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 30. September 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Dzierzon

DaimlerChrysler AG

Aifan

22.09.2003

5

Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine

10 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine gemäß Anspruch 1.

Beispielsweise ist aus der DE 195 19 663 A1 ein Verfahren zum Betrieb eines Verbrennungsmotors mit Selbstzündung bekannt, bei
15 welchem in einer ersten Stufe ein homogenes, nicht selbstzündendes vorverdichtetes Kraftstoff-Luft-Gemisch im Arbeitsraum bereitgestellt wird und in einer zweiten Stufe eine Zusatzmenge desselben Kraftstoffs in den Arbeitsraum eingespritzt wird, um die Selbstzündung herbeizuführen. Das
20 Kraftstoff-Luft-Gemisch wird dabei mittels äußerer Gemischbildung bereitete und in den Arbeitsraum eingebracht, um dort bis nahe an den Selbstzündungspunkt verdichtet zu werden. Die Einspritzung der Zusatzmenge Kraftstoff in der zweiten Stufe erfolgt fein zerstäubt unter Vermeidung von Wandberührungen
5 unter Bildung einer Gemischwolke, in der einerseits das Kraftstoff-Luft-Verhältnis nicht größer als das stöchiometrische Mischungsverhältnis ist und in der andererseits die Selbstzündungsbedingung erreicht wird.

30 Weiterhin ist aus der DE 198 52 552 C2 ein Verfahren zum Betrieb eines im Viertakt arbeitenden Verbrennungsmotors bekannt, welches bei Teillast ein mageres Grundgemisch aus Luft, Kraftstoff und zurückgehaltenem Abgas und bei Volllast ein stöchiometrisches Gemisch bildet. Bei Teillast erfolgt eine
35 Kompressionszündung, während bei Volllast eine Funkenzündung stattfindet. Weiterhin ist eine mechanisch gesteuerte Abgasrückhaltung mit schaltbarer Ventilunterschneidung und Abgas-

drosselung vorgesehen. In das zurückgehaltene Abgas kann eine Aktivierungseinspritzung vorgenommen werden. Die Menge des zurückgehaltenen Abgases ist bei eingeschalteter Ventilunter-
 5 schneidung abhängig von der Motordrehzahl und -last durch eine für alle Brennräume wirksamen Abgasdrosselklappe gesteuert bzw. voreingestellt. Der Druck beim Öffnen der Einlassorgane in die einzelnen Brennräume wird durch eine zylinderselektive und zylinderkonsistente Aktivierungseinspritzung gleichgestellt.

10 Auch aus der DE 198 18 569 C2 ist ein Verfahren zum Betrieb einer im Viertakt arbeitenden Hubkolbenbrennkraftmaschine bekannt. Es ist durch ein homogenes, mageres Grundgemisch aus Luft, Kraftstoff und zurückgehaltenem Abgas sowie Kompressions-
 15 zündung und direkte Einspritzung des Kraftstoffs in den Brennraum gekennzeichnet. Das Volumen des Brennraums verändert sich zyklisch. Der Brennraum ist durch mindestens ein Einlassorgan mit Frischgas befüllbar, während die Verbrennungsabgase durch mindestens ein Auslassorgan zumindest teilweise ausschiebbar
 20 sind. Die Brennkraftmaschine wird im Teillastbereich und im unteren Volllastbereich mit Kompressionszündung und vorzugsweise mechanisch gesteuerter Abgasrückhaltung betrieben, während sie im Volllast- und hohen Teillastbereich otto-
 motorisch betrieben wird.

5 Nachteilig an den aus den oben genannten Druckschriften bekannten Verfahren ist insbesondere, dass sich bei Laständerungen die Temperatur des Abgases als auch die Zusammensetzung des Arbeitsgases ändern. Dadurch wird die Reaktionsfähigkeit des Gemischs bei der Kompressionszündung
 30 ebenfalls verändert, bis hin zu Zündaussetzern bei zu niedrigen Arbeitsgastemperaturen.

Aufgabe der Erfindung ist es demgegenüber, ein Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine bereitzustellen, welches
 35 Änderungen der Reaktionsfähigkeit des Gemischs bei Lastwechseln berücksichtigt bzw. korrigiert.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich dabei dadurch aus,
 5 dass bei einer Änderung des Lastzustandes die prinzipbedingte Verschiebung der Verbrennungslage durch die Verschiebung der Phasenlage von Ein- und/oder Auslassphase kompensiert wird. Durch eine derart gezielte Änderung der Steuerzeiten können Änderungen der Arbeitsgaszusammensetzung bei Lastwechseln
 10 wirksam korrigiert werden.

Bei Erniedrigung der Motorlast kann entweder die Einlassphase nach spät oder die Auslassphase nach früh verschoben werden, oder die beiden Phasenverschiebungen können gleichzeitig durch-
 15 geführt werden, wobei sich die Effekte in diesem Fall addieren.

Weitere Merkmale und Merkmalskombinationen ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung unter Bezugnahme auf die Figuren. Es zeigen:

20

Fig. 1 ein Diagramm von Luftzahl, indiziertem Mitteldruck und Verbrennungslage in Abhängigkeit von der Einspritzmenge;

5

Fig. 2 eine Graphik der Verbrennungslage in Abhängigkeit von Ein- und Auslassphase;

Fig. 3 ein Diagramm des Zylinderdrucks in der Zwischenkompression in Abhängigkeit von der Auslassphase;

30

Fig. 4 ein Diagramm des Zylinderdrucks und den Saugrohrdrucks während der Ansaugphase in Abhängigkeit von der Einlassphase; und

35

Fig. 5 eine schematische Darstellung der Verstellstrategie zur Änderung der Last bei konstanter Drehzahl.

Antrieb der Forschung und Entwicklung bei Brennkraftmaschinen ist die stetige Verbesserung des Verbrauchs bei gleichzeitiger Verringerung der Rohemission. Bei fremdgezündeten Brennkraftmaschinen bieten sich vor allem alternative Laststeuerverfahren an, um den Teillastwirkungsgrad zu erhöhen. Wichtigste Entwicklungsrichtungen sind der geschichtete Direkteinspritzer, der fremdgezündete Brennkraftmaschinen mit Hilfe von Qualitätsregelung den selbstzündenden Brennkraftmaschinen (Dieselmotor) näher rückt, und der variable Ventiltrieb kombiniert mit Restgasstrategien, welche die Ladungswechselverluste begrenzen sollen. Beide Verfahren versprechen theoretisch große Vorteile, scheitern aber im einen Fall an der teuren Abgasnachbehandlung des überstöchiometrischen Gemischs, im anderen Fall an der begrenzten Restgasverträglichkeit von fremdgezündeten Brennkraftmaschinen. Ideal stellt sich eine Verknüpfung beider Verfahren dar: eine qualitätsgeregelte Brennkraftmaschine mit hohem Restgasgehalt und Selbstzündung, die durch homogene Verbrennung bei überstöchiometrischem Betrieb kein oder kaum Stickoxid emittiert.

Eigenschaft homogener Brennverfahren ist der durch die Temperatur bzw. die Gemischzusammensetzung bestimmte Selbstzündungszeitpunkt. Realisiert man die notwendigen Ladungstemperaturen mit Hilfe von Abgasrückhaltung, genauer über die Parameter Abgastemperatur und -menge, ergibt sich eine Abhängigkeit der Verbrennungslage des Zyklus n vom Vorzyklus $(n-1)$, im Extremfall wird die notwendige Selbstzündungstemperatur nicht erreicht. Die Verbrennungslage ihrerseits ist bestimmend für die Zielgrößen der Brennkraftmaschine und muss deshalb last- und drehzahlabhängig definierte Werte aufweisen.

Aufgabe der Erfindung ist es, Möglichkeiten zu finden, die bei Betriebspunktwechsel innerhalb des von der Raumzündverbrennung abgedeckten Teillastbereichs notwendigen Veränderungen in Abgasmenge bzw. -temperatur umzusetzen, ohne die Verbrennung negativ zu beeinflussen.

Abgasrückhaltung kann prinzipiell mit Hilfe geeigneter Steuerzeiten erreicht werden. Nötig ist zunächst ein frühes Schließen des Auslassventils, um die nötige Menge Restabgas im Brennraum der Brennkraftmaschine zu halten. Um ein Rückströmen des heißen Abgases in das Saugrohr und dadurch bedingte Abkühleffekte und Füllungsverluste zu vermeiden, wird gleichzeitig das Einlassventil später geöffnet. Bei konventionellen, fremdgezündeten Brennkraftmaschinen ist dieses Konzept jedoch nicht ohne weitere Maßnahmen anwendbar.

10

Gestaltet man diese Ventilunterschneidung ausreichend variabel, ergibt sich das erste Steuerungskonzept für diese Art der Bereitstellung der notwendigen Temperatur. Die Forderung nach einem unbeeinflussten Hochdruckteil und somit bestmöglicher Füllung setzt hierbei allerdings den Einsatz eines vollvariablen Ventiltriebs voraus, bei welchem Öffnungs- und Schließzeitpunkt unabhängig voneinander verstellt werden können.

15

20

Kehrt man zurück zur herkömmlichen Nockenwelle, bleibt die Einstellung einer definierten Abgasrückhalterate den schon im Serieneinsatz verbreiteten Nockenwellenstellern vorbehalten. Als unerwünschter Nebeneffekt verändert sich bei einer starren Nockenkontur mit dem Winkel, bei welchem das Ventil schließt, jeweils auch der Winkel, bei welchem das Ventil öffnet, was zu Ladungs- und Wirkungsgradverlusten und nicht zuletzt zu einem eingeschränkten Betriebsbereich in Last und Drehzahl führt.

25

Neben der Steuerung der Temperatur bei Kompressionsende mit Hilfe der Abgasrückhalterate bzw. -menge ergibt sich durch den Einsatz der Direkteinspritzung und den Betrieb der Brennkraftmaschine mit Luftüberschuss auch eine Einflussnahme auf die Arbeitsgastemperatur und/oder die Gemischzusammensetzung des Kraftstoffs. Die Wirkungsweise der Direkteinspritzung lässt sich dabei in zwei Mechanismen untergliedern: zum einen in einen thermischen Effekt, der eine Erhöhung der Abgastemperatur in Folge der Umsetzung des voreingespritzten Kraftstoffs vor-

30

35

sieht, zum anderen eine auftretende Vorkonditionierung des Kraftstoffs, die dessen Reaktivität erhöht und somit Einfluss auf den integralen Zündverzug nimmt.

- 5 Fig. 1 zeigt zum besseren Verständnis des erfindungsgemäßen Verfahrens ein Diagramm der Luftzahl, des indizierten Mittel-
drucks sowie der Verbrennungslage in Abhängigkeit von der
Einspritzmenge.
- 10 Zur Ermittlung des Einflusses der Last auf die Raumzünd-
verbrennung wird hierbei ausgehend von einem Referenzpunkt der
Brennkraftmaschine (2.000 U/min und 3bar p_{mi}) die Einspritz-
menge bei ansonsten konstanten Randbedingungen erhöht. Zwischen
dem Luft-Kraftstoff-Gemisch und der eingespritzten Kraftstoff-
15 masse besteht, wie aus Fig. 1 ersichtlich, ein linearer
Zusammenhang. Die angesaugte Frischluftmasse bleibt also unter
den gewählten Randbedingungen, insbesondere bei konstanten
Steuerzeiten, lastunabhängig konstant. Die Last (p_{mi}) steigt
zunächst linear an, später nur noch unterproportional. Diese
20 Wirkungsgradverschlechterung bei relativ fettem Gemisch folgt
aus einer Verminderung des Umsetzungsgrades und aus der zu
frühen Verbrennungslage. Die Verschlechterung der Umsetzung,
die vor allem in einem Anstieg der CO-Emission bemerkbar ist,
resultiert aus der Kombination von Abgasrückhaltung und Direkt-
einspritzung. Wird der Kraftstoff direkt in den Brennraum der
Brennkraftmaschine eingebracht, ist unter der Voraussetzung
einer mehr oder weniger starken Schichtung zwischen Restgas und
Frischladung eine Vermischung mit Abgas nicht zu vermeiden bzw.
sehr wahrscheinlich. Mit fetten Luftzahlen sinkt auch der
30 Sauerstoffgehalt im Abgas und der dort aufbereitete Kraftstoff
kann dann nicht mehr vollständig oxidiert werden. Die sichtbare
Verschiebung der Verbrennungslage nach früh ergibt sich aus den
höher werdenden Abgastemperaturen. Verschlechtert sich die
Umsetzung und sinken damit die Abgastemperaturen trotz weiterer
35 Erhöhung der Einspritzmenge, kommt auch die Verschiebung der
Verbrennungslage zum Erliegen.

Werden nun beim gewählten Referenzpunkt von 2.000 U/min und 3 bar p_{mi} sowie konstanter Einspritzmasse die Phasenlagen von Ein- und Auslassnockenwelle verändert, ist die Wirkung von primären Einflussparametern wie beispielsweise den Ventilsteuerzeiten unmittelbar ersichtlich.

Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung der Verbrennungslage in Abhängigkeit von Ein- und Auslassphase.

- 10 Eine Verstellung der Auslassphase nach früh bewirkt demnach eine Frühverschiebung der Verbrennungslage. Eine spätere Einlassphase führt ebenfalls zu einer Frühverschiebung der Verbrennung in etwa demselben Maß. Bei gleichzeitiger Verstellung der Phasenlagen verdoppelt sich der Effekt. Die
- 15 Steuerzeiten von Ein- und Auslassventilen sind also nicht getrennt voneinander zu betrachten, sondern beeinflussen sich gegenseitig.

- Betrachtet man die kurbelwinkelaufgelösten Indizierdaten gemäß dem in Fig. 3 dargestellten Diagramm, erklärt sich die Verschiebung der Verbrennungslage. Dargestellt ist die Erhöhung des Zylinderdruckniveaus in der Zwischenkompression mit einem früheren Schließen des Auslassventils. Durch die Vergrößerung des Restgasgehalts steigt die Gastemperatur in der Kompression, die Verbrennung beginnt demnach früher. Die Erhöhung des
- 20 Maximaldrucks im Gaswechsel-Totpunkt fällt aber im Vergleich zu einer Verschiebung des Schließens des Auslassventils eines vollvariablen Ventiltriebs relativ gering aus. Aufgrund der starren Nockenkontur verschiebt sich mit früherem Schließen des
- 25 Auslassventils auch der Öffnungswinkel des Auslassventils und schneidet die Expansion ab. Da bei immer höherem Gegendruck geöffnet wird, strömt schon in dieser Phase mehr Abgas aus dem Brennraum der Brennkraftmaschine. Für die Verschiebung der
- 30 Einlassphase ergeben sich, wie aus Fig. 4 ersichtlich, zwei Grenzfälle. Zum einen strömt Abgas aus dem Brennraum bei zu frühem Öffnen des Einlassventils in das Saugrohr zurück. Dies
- 35 führt zu einer Drucküberhöhung im Saugrohr und zu einer Abnahme

des Drucks im Brennraum. Der andere Grenzfall ergibt sich durch das zu späte Schließen des Einlassventils. Hierbei kommt es zu Füllungsverlusten durch Ausschleiben der frisch angesaugten Brennraumladung und damit zu einer Verminderung der effektiven Verdichtung.

Fig. 5 zeigt in einer schematischen Darstellung die Verstellstrategie zur Erhöhung der Last bei konstanter Drehzahl. Bei Änderung der Last reicht die Geschwindigkeit der hydraulischen Nockenwellensteller nur für eine langsame, kontinuierliche Anpassung der Abgasrückhalterate aus. Aufgrund der mit der umgesetzten Kraftstoffmasse steigenden Abgastemperatur muss das Temperaturniveau nach dem Schließen des Einlassventils über die Abgasrückhaltemenge wieder angepasst werden, damit die Verbrennung nicht zu früh beginnt. Wichtig ist dabei die Reihenfolge der beiden auszuführenden Operationen (Erhöhung bzw. Verringerung der Einspritzmenge und Einstellen der korrekten Ventilunterschneidung). Bei Einsatz der Abgasrückhaltung ist wie bereits weiter oben erwähnt die Abgastemperatur und die Menge des zurückgehaltenen Abgases vom Vorzyklus entscheidend für die sichere Auslösung der Selbstzündung. Abgasmenge und -temperatur sind also immer gemeinsam zu betrachten. Für einen Übergang von niedriger Last bei niedriger Abgastemperatur mit hoher Restgasmasse zu hoher Last bei hoher Abgastemperatur mit kleiner Restgasmasse bedeutet dies, dass zunächst die saug-synchron eingebrachte Einspritzmenge erhöht werden muss. Im Hochdruckteil wird diese größere Kraftstoffmenge umgesetzt, wodurch die Abgastemperatur steigt. Erst jetzt kann bzw. muß die Rückhalterate über die Ventilunterschneidung ausgeglichen werden. Dasselbe gilt für Laständerungen in umgekehrter Richtung.

DaimlerChrysler AG

Aifan

22.09.2003

5

Patentansprüche

- 10 1. Verfahren zum Betrieb einer im Viertakt arbeitenden
Brennkraftmaschine mit folgenden Merkmalen:
- in mindestens einen Brennraum der Brennkraftmaschine,
dessen Volumen sich zyklisch ändert, wird Kraftstoff
direkt eingespritzt,
 - 15 - Frischgas wird durch mindestens ein Einlassventil
zugeführt und Verbrennungsabgas wird durch mindestens
ein Auslassventil abgeführt,
 - bei Teillast wird ein mageres Grundgemisch aus Luft,
Kraftstoff und rückgehaltenem Abgas und bei Volllast ein
20 stöchiometrisches Gemisch gebildet,
 - bei Teillast erfolgt eine Kompressionszündung und bei
Volllast eine Funkenzündung,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass bei einer Änderung des Lastzustandes die prinzip-
bedingte Verschiebung der Verbrennungslage durch die Ver-
schiebung der Phasenlage von Ein- und/oder Auslassphase
5 kompensiert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
30 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Verbrennung nach früh verschoben wird, indem die
Auslassphase nach früh verstellt wird, wobei das Auslass-
ventil früher geöffnet wird.
- 35 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass die Verbrennung nach früh verschoben wird, indem die Einlassphase nach spät verstellt wird, wobei das Einlassventil später geöffnet wird.

111

Fig. 1

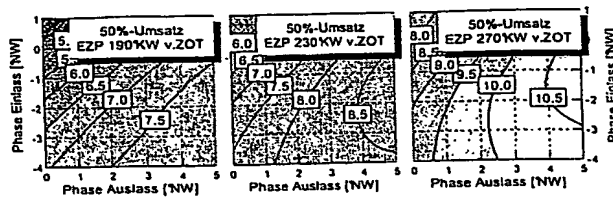
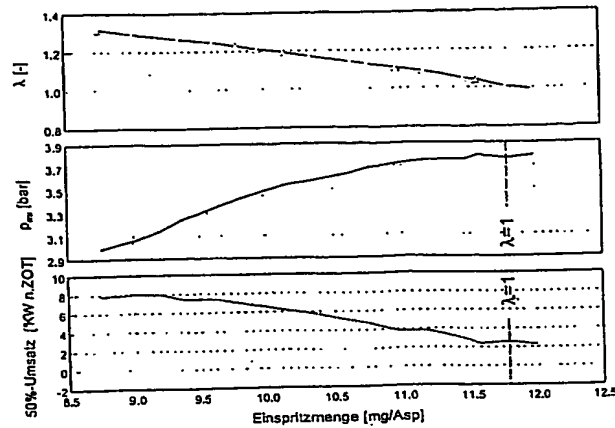


Fig. 2

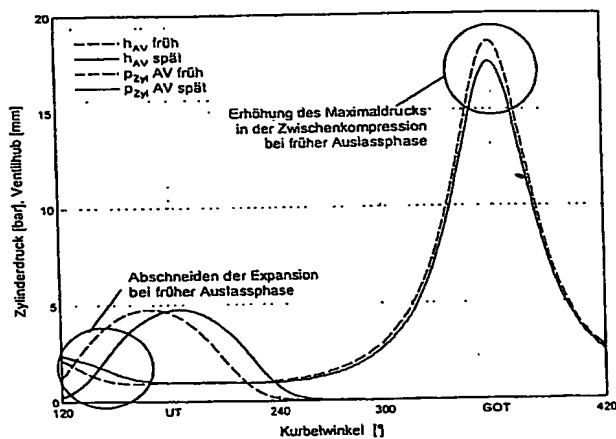


Fig. 3

Fig. 4

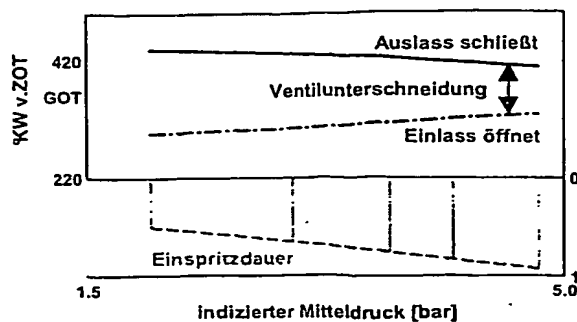
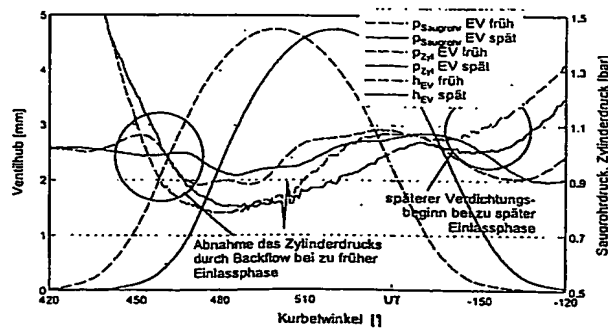


Fig. 5

DaimlerChrysler AG

Aifan

22.09.2003

5

Zusammenfassung

1. Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine

- 10 2.1. Es wird ein Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine vorgeschlagen, bei welchem die Verbrennungslage eingestellt / kontrolliert / korrigiert werden kann.
- 15 2.2. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass hierzu die Phasenlage von Ein- und/oder Auslassphase verschoben wird.
- 2.3. Anwendung für Brennkraftmaschinen, insbesondere für Personen- und Lastkraftfahrzeuge.